

FOCUSED CHARGED PARTICLE BEAM APPARATUS

BACKGROUND OF THE INVENTION

本発明は、電子ビーム露光用 (Electron beam Projection Lithography : E P L) ステンシルマスクのような微細ステンシル構造を加工する技術に関する。

パソコンや携帯電話といった最近の電子機器の小型高性能化を可能にしたのは L S I の高密度化、システム化によるところが大きい。僅か数ミリ四方の半導体チップに数百万個以上の素子が詰め込まれる状況中で回路パターンを描く線幅もミクロンからナノのオーダーになってきており、それを実現するためのリソグラフィの技術開発が繰り広げられている。今までのリソグラフィの主流は光リソグラフィ技術であったが、パターンの微細化に対応して使用する光の波長も極力短いものとし、短波長のレーザを用いて行なうことになるが、その加工も光学系やレジストの問題があつて、光露光装置による微細化への対応はそろそろ限界というところにきている。そこで、光に代わって将来性を有望視されているのが電子ビームや極短紫外線を線源とする技術である。

電子ビーム露光 (E P L : Electron beam Projection Lithography) は 100 nm ~ 50 nm ノードのデバイス作製法として、注目を集めている。ステンシルレチクルマスクは E P L マスクの一つである。E P L 用ステンシルレチクルマスクは図 5 に示すように電子スキャタリング用 Si メンブレン 21 (厚さ 2.0 μ m) と電子透過用ホールから構成されている。一般にはシリコンウエハを加工して作られており、1 レチクル相当の領域にホール 22 が穿設されており、その底部にパターンが貫通構造で形成されている。このマスクは、電子銃筒からの 100 k V 電子ビームは平行光線形態で上方から前記ステンシルレチクルマスク 1 の底部を照射する。電子ビーム 2 は貫通部分を除いて底部で遮蔽され、貫通部分を透過した電子ビーム 2 は電子レンズ 3 によってレジスト 4 表面に縮小投影し、貫通構造で示されるパターンを転写露光する。

このようにして使用される電子ビーム露光用マスクの欠陥の有無、場所、形状は、実際の露光装置での露光試験や、電子顕微鏡のような電子ビーム装置の透過

像観察により判断される。欠陥が発見された電子ビーム露光用マスクは、図4に示すような集束イオンビーム (Focused Ion Beam: FIB) 装置を用いて修正加工が行なわれる。このFIB装置はイオン源12から引出されたイオンをイオン光学系13によって加速・集束し集束イオンビーム5として試料面に照射する。その際、照射はブランキング電極によりON/OFFすると共に、偏向電極によって照射位置をX-Y二次元走査できる機能を備えている。また、試料ステージ6上の試料ホルダ15には試料11にFIBが照射される位置と角度を調整できるようにX、Y、Zの三次元駆動および回転と傾斜駆動の機構が備えられている。修正加工は図3の左側に示されるようにFIB5を照射して付着異物7をスパッタエッチングによって除去する黒欠陥 (opaque defect) 修正と、図3の右側に示されるようにガス銃9から原料ガスを噴射させながらパターンの欠落部分にFIB5を照射し、イオンビーム誘起デポジションによって欠落部にデポ膜8を付加する白欠陥 (clear defects) 修正によって欠陥が修正される。図にはフェナントレン等を材料ガスにしたカーボンデポの例を示してある。また、FIBを電子ビーム露光用マスク表面 (試料表面) に照射走査して、試料面から発生する二次荷電粒子 (例えば二次電子、二次イオン等) を試料表面近傍に設置された二次荷電粒子検出器14により検出し、その試料表面の情報から走査イオン顕微鏡 (Scanning Ion Microscope: SIM) 像を得て、欠陥の場所や形状を判断し、加工の進み具合を観察し、欠陥修正実施後の形状確認をして目的の加工が完了したかを判断している。

FIB装置のような集束荷電粒子ビームを用いた微細加工装置において、集束荷電粒子ビームはその径内において強度が一様では無く、通常正規分布となっているため、ビームの裾の影響でビーム上流側が大きく削られ垂直に入射しても加工断面が垂直にならないという現象を生じる。図3の左側に示した黒欠陥7を上方からのFIB5でスパッタエッチングを行なうと図に破線で示したような削られ方をし、加工面がテーパ状になってしまう。電子ビーム露光マスク1の寸法は前述したように益々微細化されていて、修正精度も更に向上させる必要がある。この修正による断面の傾斜は、修正誤差として無視できなくなっている。例えば、Siメンブレンの厚さを $2\mu\text{m}$ とした場合、傾斜角2度でマスクの裏表の寸法差

が約70nmになる。EPLでは、露光時に1/4の大きさに投影されるため、50nmのパターンを形成するには、マスクパターンは200nm以下の大きさになる。このような状況下で貫通構造をもつパターンの傾斜による寸法差は無視出来ない問題となる。マスクパターンサイズによるが、傾斜角は最大でも±1度以下、できれば0.5度以下に押さえる必要がある。

FIB装置を用いた加工において、断面を垂直に加工することが重要になる加工は従来からあった。例えば、特開平4-76437号公報には極めて薄い板形態の透過型電子顕微鏡(TEM)用の試料をFIB装置によって加工する時に、試料を数度傾斜してエッチングし、TEM観察面を垂直に加工することが開示されている。これは試料が均一な薄さでないとTEMで観察出来るところと出来ないところが出てしまうため、観察面両側を垂直に加工し一様の薄さにしようとするものである。また前述のFIBによる電子ビーム露光用マスクの修正も、TEM試料のFIB加工同様加工面を垂直にすることが求められる。その理由はマスク断面が垂直でないと、テーパ状になった薄い部分は電子ビームが透過し、不必要部まで露光し所望のパターン形成ができない不具合を発生させるためである。したがって、マスクの加工断面を垂直にすることが必要であるが、TEM試料加工のように電子ビーム露光用マスクを傾斜させて、加工断面を垂直にしようとしても、貫通構造である当該マスクのパターンはTEM試料のように加工面が表裏平行平面ではなく、360°のあらゆる面をとることになる。その場合あらゆる面に対応させて試料ステージを傾斜させなければならないが、従来のFIB微細加工装置の試料ステージは、前述のように5軸ステージ(XYZRT)であり、試料の傾斜方向は1方向であった。TEM試料加工のような断面加工の場合は、1方向の傾斜機能で問題なく対応できたが、電子ビーム露光用マスクのように色々な方向にパターンが形成されているものの加工を、1方向のみの傾斜機能で対応しようとした場合、加工最中に試料移動を頻繁に行なう必要があり、特にローテーション機能を多用することになるため、マスクを傾斜させて垂直面を形成させる加工を行なうことは現実的に無理であった。

本発明の課題は、電子ビーム露光用マスクにおける貫通構造のパターン欠陥を修正加工する際に、あらゆる方向を取り得るパターン面を無理なく正確に垂直に

加工することができる集束イオンビーム装置を提供し、もってマスクに忠実なEB露光を可能とすることにある。

SUMMARY OF THE INVENTION

本発明の集束荷電粒子ビーム装置は、荷電粒子源と、該荷電粒子源から引き出された荷電粒子ビームを集束するための集束レンズ系と、前記荷電粒子ビームをオン/オフするためのブランキング電極とからなる集束荷電粒子ビーム発生部と、前記集束荷電粒子ビームを偏向走査するための偏向電極と、ビーム照射位置と角度を調整するための駆動手段を有する試料ステージと、デポジションまたはアシストエッチング用ガスを吹き付けるガス銃とを備えた集束荷電粒子ビーム装置において、前記試料ステージ駆動手段は、レンズ光学軸回りのあらゆる方向の断面を垂直に加工することを可能にするため、X、Yの2軸方向に傾斜できる機構を備えるようにした。

本発明の集束荷電粒子ビーム装置は、X、Yの2軸方向に傾斜できる機構をX、Y、Z三次元移動を行なう機構の下に載置すると共に、集束荷電粒子ビームに対し試料面が垂直から数度の傾斜角範囲で自在に設定可能な機構であることにより、電子ビーム露光用マスクの貫通構造のパターンにおけるあらゆる方向の断面を無理なく正確に垂直に加工することを可能とし、当該マスク微細加工用装置として回転駆動機構を省略出来る。

使用する荷電粒子ビームの加工補正角 α をデータ記憶した手段と、該データ α に基づいて試料面傾斜角を $90^\circ + \alpha$ に設定するように制御する手段とを備えている本発明の集束荷電粒子ビーム装置は、電子ビーム露光用マスクの貫通構造のパターンにおけるあらゆる方向の断面を容易に垂直に加工できる。

BRIEF DESCRIPTION OF THE DRAWINGS

図1A、1Bは、本発明の二軸チルト駆動機構を説明する図である。

図2A、2Bは、集束イオンビームによる従来の加工（試料傾斜無し）と本発明（試料傾斜有り）による加工を比較する図である。

図3は、集束イオンビーム装置による黒欠陥修正と白欠陥修正を示す図である。

図4は、集束イオンビーム装置の基本構成を示す図である。

図5は、電子ビーム露光法によるデバイス作製法を説明する図である。

DETAILED DESCRIPTION OF THE INVENTION

本発明は、前述したように電子ビーム露光用マスクにおける貫通構造のパターン欠陥を修正加工する際に、あらゆる方向を取り得るパターン面を無理なく正確に垂直に加工することができる集束イオンビーム装置を提供することにある。従来この種の微細修正加工はFIB装置を用いて行なうのが通例であり、イオンビームは正規分布の強度を持つものであるため加工面はテーパ状となってしまう。解決手段として試料を傾斜させて加工することが考えられるが、加工面があらゆる方向をとる上記試料においては1軸チルト機能では対応が難しい。従来のFIB装置には試料ステージのXYZ三次元駆動と回転Rと傾斜Cの5軸機能を備えていることから、理屈上は所望の傾斜角をC機構でとり、R機構を用いれば電子ビーム露光用マスクの貫通構造のパターンにおけるあらゆる方向の断面を垂直に加工することは可能である。ところがこれを実際に実行しようとする、回転軸上に無い加工箇所は回転駆動によって位置ずれが生じ、その位置合わせに他の駆動機構をも操作する手間と時間を費やすことになり、実務上は非現実的であったことに鑑み、本発明は試料ステージの駆動機構において一番下位に二軸のチルト（ダブルチルト）機構を設置し、位置ズレを起こし難い状況でレンズ光学軸に対しあらゆる方向の傾斜実現できる機構とすることを想到したものである。

図1A-1Bに本発明の基本構成を示す。図1Aはビーム照射方向から見た試料ステージ6の平面図であり、図1Bは側方から見た該試料ステージ6の断面図である。平面図に直交するX軸とY軸を示してあるがこの軸は試料面と一致するように、またその交点はレンズ光学系の光学軸と一致するように設定される。これは軸回りのチルト動作により試料位置がズレないようにするためである。本発明はこの機構を試料ステージ駆動機構の最下段に設置するようにした。これにより、レンズ光学系回りのあらゆる方向に試料面を傾斜させることが可能となると共に、傾斜をさせても試料面中心部である先の交点がビームの照射位置（レンズ光学系の軸上）からずれることが無い。試料面における加工位置が常に試料中心にある

わけではないが、X、Y駆動機構はチルト機構の上にあることによりX-Y摺動面は同じ角度でチルトされており、何処にある加工箇所であってもそのX、Y座標位置に移動させれば該当箇所を同じビーム照射位置に持ってくることができる。

最大傾斜角 $\theta 1$ 、 $\theta 2$ としては、絶対値として少なくとも 5° 位あるとよい。

図2A-2Bに電子ビーム露光用マスク1の貫通構造のパターンにおける断面を垂直に加工する従来装置での加工結果と本発明の装置での加工結果とを対比して示す。図2Aに示す従来装置で、試料面をレンズ光学系の光学軸に直交させた状態でFIB5を照射し、網点を符した黒欠陥部をスパッタエッチングして修正加工をすると、FIB5が通常は正規分布の強度分布であるため、上流側が裾部分の積算効果を受けビームは垂直であるにもかかわらず、図2Aに図示するようにテーパ形状にスパッタリングされてエッチング残りが生じてしまう。これに対し、本発明の装置を用いれば図2Bに示すように、使用するFIB5のスパッタリング特性に基くテーパ角に相当する分だけ加工面を傾斜（ここでは約 3° としている）させて、FIB5を照射し、網点を符した黒欠陥部7をスパッタエッチングして修正加工をすると、所望の面加工が実行される。これは、FIB5がスパッタリングして同じくテーパ形状に加工を行なうのであるが、被加工面自体が垂直で無く該テーパ角分だけ傾斜させられていることによる。そしてこの場合被加工物が貫通構造のパターン電子ビーム露光用マスクである。本発明のダブルチルト機構は貫通穴の全周面について傾斜面の方向を対応させることができるので、上記マスクの表面側から裏面側まで同じ断面形状で加工を行なうことができる。

以上の説明ではFIB装置を使って電子ビーム露光用マスクの修正加工を行なうものとしてきた。しかし、これに限らずマスク材をアシストエッチングするガスとデポジションガスをガス銃から噴射する機能を備えることにより、電子ビームを用いても同様の加工を実行させることができる。電子はイオンと異なり質量が小さいので、電子自体によるスパッタエッチングを行なうことはできないが、ガスアシストエッチングにより黒欠陥を消去させることが出来る。そして、集束電子ビームも集束イオンビーム同様正規分布の強度分布をもつものであるため、加工面がテーパ状になる現象においても同様である。したがって、本発明は集

束荷電粒子ビーム装置という上位の概念で捉えることが出来る発明である。

[First embodiment]

本発明の主要部は試料ステージの駆動機構である。その実施例を以下に示す。

直交する二軸を中心に360度自由方向に対応出来る傾斜ステージを採用し、高精度3軸ステージ(XYZ)をその上に装備する。この実施例で採用するダブルチルト機構は図1Bに図示されているように、本体固定部に形成された半球形の凹部にステージ側の半球形の凸部が嵌合し半球形のスライド機構10が形成されると共に、直交する二軸の傾斜駆動源からなっている。X、Y、Zの3軸ステージは、高精度に高速移動が出来るようにレーザインターフェローメータを備えたものを採用する。また、加速電圧、ビーム電流値等により異なるFIBの種類に対応したそれぞれの加工補正角 α をデータとして予めコンピュータの記憶手段に蓄積しておく。前記二軸の傾斜駆動源には2つのアクチュエータが取付けられ、使用するFIBの種類に対応した加工補正角 α を前記記憶手段から読み出してマスク修正面と入射ビームとのなす角が常に $90^\circ + \alpha$ となるように該アクチュエータを制御するシステムとした。

本発明の集束荷電粒子ビーム装置は荷電粒子源と、該荷電粒子源から引き出された荷電粒子ビームを集束するための集束レンズ系と、前記荷電粒子ビームをオン／オフするためのブランキング電極とからなる集束荷電粒子ビーム発生部と、前記集束荷電粒子ビームを偏向走査するための偏向電極と、ビーム照射位置と角度を調整するための駆動手段を有する試料ステージと、デポジションまたはアシストエッチング用ガスを吹き付けるガス銃とを備えた集束荷電粒子ビーム装置において、前記試料ステージ駆動手段は、X、Yの2軸方向に傾斜できる機構とX、Y、Z三次元移動を行なう機構から構成されるものであるから、あらゆる方向への傾斜を可能とする。

本発明の集束荷電粒子ビーム装置は、X、Y、Z三次元移動を行なう機構をX、Yの2軸方向に傾斜できる機構の上に載置すると共に、集束荷電粒子ビームに対し試料面が垂直から数度の傾斜角範囲で自在に設定可能な機構であることにより、電子ビーム露光用マスクの欠陥をイオンビームで修正し、マスクの加工面を垂直にすることが可能である。そしてそのことにより、マスクに忠実な電子ビーム露

光を可能とする。

本発明の集束荷電粒子ビーム装置は、使用する荷電粒子ビームの加工補正角 α をデータ記憶した手段と、該データ α に基いてマスク修正面と入射ビームのなす角が常に $90^\circ + \alpha$ に設定するように制御する手段とを備えることにより、電子ビーム露光用マスクの貫通構造のパターンにおけるあらゆる方向の断面を容易に垂直に加工できる。

また、本発明の集束荷電粒子ビーム装置は、集束荷電粒子ビームとして電子ビームを採用し、マスク材をアシストエッチングするガスとデポジションガスをガス銃から噴射する機能を備えることにより、微細ステンシル構造物の修正加工をFIB装置に換えて集束電子ビーム装置で行なえうものであり、電子ビーム露光用マスクの欠陥を電子ビームで修正し、マスクの加工面を垂直にすることが可能である。そしてそのことにより、マスクに忠実な電子ビーム露光を可能とする。

What is claimed is:

1. 荷電粒子源と、該荷電粒子源から引き出された荷電粒子ビームを集束するための集束レンズ系と、前記荷電粒子ビームをオン／オフするためのブランキング電極とからなる集束荷電粒子ビーム発生部と、前記集束荷電粒子ビームを偏向走査するための偏向電極と、ビーム照射位置と角度を調整するための駆動手段を有する試料ステージと、デポジションまたはアシストエッチング用ガスを吹き付けるガス銃とを備えた集束荷電粒子ビーム装置において、前記試料ステージ駆動手段は、X、Yの2軸方向に傾斜できる機構とX、Y、Z三次元移動を行なう機構から構成され、あらゆる方向への傾斜を可能とすることを特徴とする集束荷電粒子ビーム装置。

2. X、Y、Z三次元移動を行なう機構はX、Yの2軸方向に傾斜できる機構の上に載置されると共に、集束荷電粒子ビームとして集束イオンビームを採用し、ビームに対し試料面が垂直から数度の傾斜角範囲で自在に設定可能な機構であることにより、電子ビーム露光用マスクの貫通構造のパターンにおけるあらゆる方向の断面を垂直に加工できることを特徴とする請求項1記載の集束荷電粒子ビーム装置。

3. 使用する荷電粒子ビームの加工補正角 α をデータ記憶した手段と、該データ α に基いて試料面傾斜角を $90^\circ + \alpha$ に設定するように制御する手段とを備え、電子ビーム露光用マスクの貫通構造のパターンにおけるあらゆる方向の断面を容易に垂直に加工できることを特徴とする請求項1記載の集束荷電粒子ビーム装置。

4. マスク材をアシストエッチングするガスとデポジションガスをガス銃から噴射する機能を備え、集束荷電粒子ビームとして電子ビームを採用したものである請求項1記載の集束荷電粒子ビーム装置。

10